

# ALGORITMA TDOA-TRILATERATION UNTUK RADAR SEKUNDER SEBAGAI SISTEM TRACKING 3-DIMENSI TRAYEKTORI ROKET

Wahyu Widada dan Sri Kliwati

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jln. Raya LAPAN Sukamulya, Rumpin, Bogor

Email: w\_widada@yahoo.com, sri\_kliwati@yahoo.com

## ABSTRAK

*LAPAN sedang mengembangkan sistem RADAR sekunder untuk mendeteksi posisi trayektori roket pada saat uji terbang. Algoritma TDOA (Time Different Of Arrival) digunakan untuk memproses signal yang diterima, akan tetapi sebelumnya diperlukan bandpass filtering untuk menghilangkan noise yang timbul. Jika ada tiga buah lokasi titik pengukuran jarak dari roket yang berbeda, maka koordinat tiga dimensi trayektori roket dapat diukur secara akurat. Tulisan ini membahas metoda TDOA trilateration untuk sistem tracking 3 dimensi trayektori roket. Hasil simulasi menunjukkan sistem ini dapat berkerja dengan akurat untuk menentukan koordinat terbang tanpa terpengaruh jarak antar stasiun. Sistem ini akan diimplementasikan dengan menggunakan perangkat keras RADAR sekunder yang sedang dikembangkan.*

**Kata kunci:** RADAR sekunder, TDOA, trilateration, rocket flight test.

## 1. PENDAHULUAN

Tracking 3 dimensi sangat diperlukan untuk deteksi trayektori dalam pengembangan roket jarak jauh dan roket kendali. Beberapa metoda telah digunakan seperti menggunakan GPS telemetry. Akan tetapi metoda ini tidak dapat akurat untuk roket dengan ketinggian lebih dari 20 km, kecuali menggunakan komponen sensor yang lebih mahal. LAPAN sedang mengembangkan teknologi RADAR sekunder untuk aplikasi deteksi jarak (*slant range*), yang ke depannya akan digunakan menjadi tracking 3 dimensi. Algoritma penting yang digunakan dalam sistem ini adalah algoritma TDOA dan algoritma trilateration. Kombinasi dari algoritma ini akan menghasilkan koordinat tiga dimensi secara akurat. Perubahan jarak posisi roket dengan posisi masing-masing receiver dapat dihitung dengan menggunakan sebuah signal dari salah satu tempat jika jarak tidak terlalu jauh. Akan tetapi jika jarak antar stasiun agak jauh dapat menggunakan radio link pada frekuensi yang lain. Sehingga, simulasi dan analisa sebuah sistem yang sedang dibangun sangat diperlukan untuk memprediksi serta menganalisa akurasi dan realisasinya secara lebih baik.

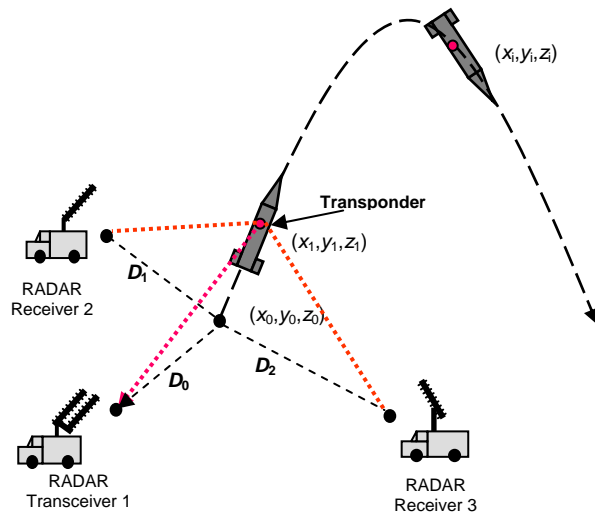
Tulisan ini membahas metoda tracking tiga dimensi menggunakan algoritma TDOA

dan trilateration dari RADAR sekunder yang sedang dikembangkan. Algoritma TDOA sendiri telah kita kembangkan untuk menghitung jarak pada RADAR sekunder ini. Pengembangan algoritma dan hasil-hasil simulasi seperti ini sangat mendukung dalam pengembangan sistem RADAR sekunder yang sedang dikembangkan, sejalan dengan hasil prototipe hardwarenya.

## 2. LANDASAN TEORI

### TDOA - TRILATERATION

Seperti pada prinsip trigonometri, bahwa jika suatu titik diamati dari tiga buah tempat yang berbeda pada kondisi tetap, maka koordinat titik tersebut dapat dihitung walaupun posisi titik tersebut bergerak.



**Gambar 1. Sistem tracking 3 dimensi dengan TDOA-trilateration menggunakan RADAR sekunder**

Gambar 1 menunjukkan sistem tracking 3 dimensi dengan cara mengukur jarak roket dari tiga buah titik untuk dapat dihitung perubahan koordinat trayektorinya. Masing-masing jarak antara posisi roket dengan ground station adalah

$$L_{R-1} = \frac{C\Delta T_1}{2}$$

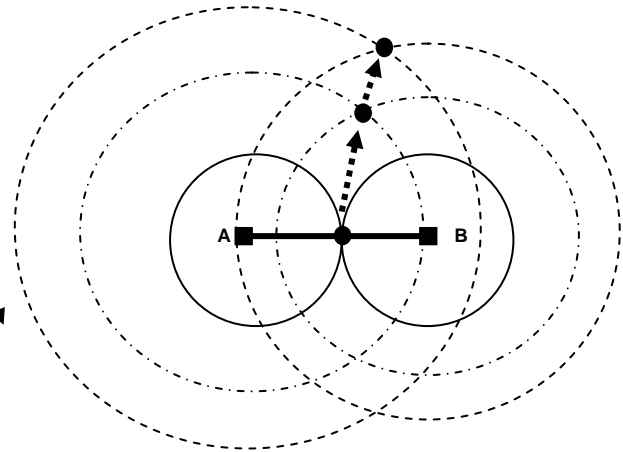
(1) untuk stasiun pertama, dan stasiun kedua adalah

$$L_{R-2} = \frac{C\Delta T_2}{2}$$

(2) dan untuk stasiun ketiga dihitung dengan persamaan berikut

$$L_{R-3} = \frac{C\Delta T_3}{2}$$

(3) Dari persamaan di atas, maka diperlukan tiga lokasi penerima RADAR sekunder. Untuk menentukan koordinat posisi dalam tiga sumbu, maka dapat kita gunakan potongan persamaan bola dari tiga titik tersebut. Ilustrasi perpotongan dua buah bola dalam satu bidang adalah seperti pada gambar di bawah ini. Posisi titik A dan B adalah titik stasiun RADAR sekunder sebagai pusat koordinat bola. Perpotongan bola tersebut merupakan titik koordinat roket, sehingga semakin bergerak bentuk bola semakin membesar. Jika ke arah kiri maka bola sebelah kanan menjadi lebih besar dari pada bola sebelah kiri.



**Gambar 2. Ilustrasi perpotongan koordinat bola dalam dua dimensi**

Jika menggunakan tiga buah bola maka, masing-masing persamaan bola adalah sebagai berikut.

$$L_{R-1}^2 = (X + D)^2 + Y^2 + Z^2$$

(4) untuk titik pertama, kemudian untuk titik kedua adalah

$$L_{R-2}^2 = (X - D)^2 + Y^2 + Z^2$$

(5) dan untuk titik ke tiga adalah

$$L_{R-3}^2 = X^2 + (Y + D)^2 + Z^2$$

(6) Dari persamaan di atas, maka koordinat trayektori roket dalam tiga dimensi (X, Y, Z) dapat ditulis dengan persamaan berikut. Koordinat sumbu X adalah

$$X = \frac{(L_{R-1}^2 - L_{R-2}^2)}{4D}$$

(7) koordinat sumbu Y adalah

$$Y = \frac{2D - (L_{R-1}^2 - L_{R-3}^2)}{2D}$$

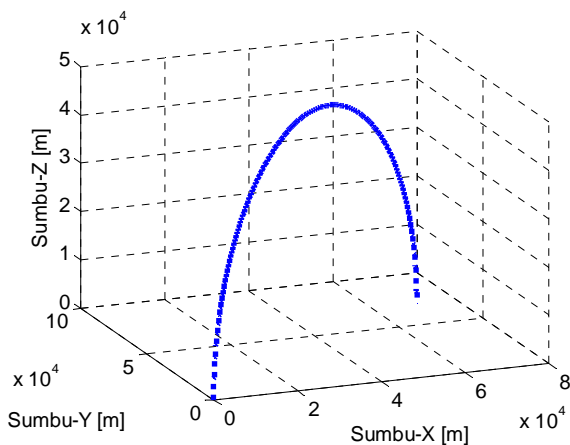
(8) dan koordinat sumbu Z adalah sebagai berikut.

$$Z = \sqrt{L_{R-1}^2 - (X + D)^2 - Y^2}$$

(9) Dari persamaan (1) hingga (9), dengan menggunakan RADAR tipe sekunder, maka trayektori roket dapat diestimasi.

### 3. PEMBAHASAN SIMULASI DAN DISKUSI

Simulasi dilakukan untuk mengetahui performa dan akurasi sistem tracking 3 dimensi di atas. Diasumsikan bahwa trayektori roket pada saat uji peluncuran seperti pada Gambar 1 di bawah. Roket meluncur parabolik seperti lintasan setengan bola dengan jari-jarai 50 km.

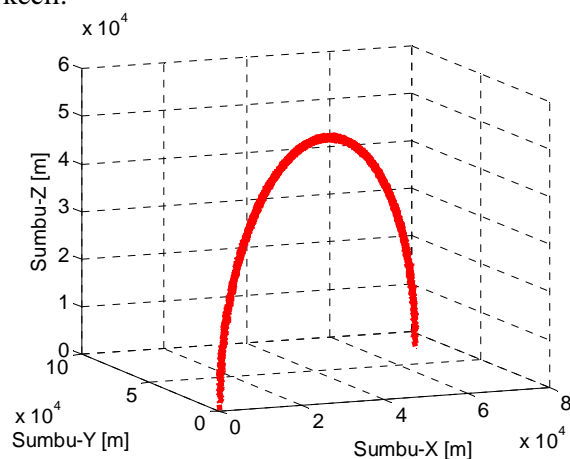


**Gambar 3.** Trayektori ideal roket.

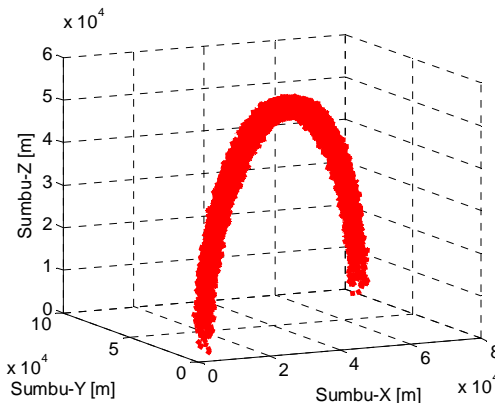
Dengan menggunakan rumus persamaan (7) sampai (9), maka lintasan roket dapat direkonstruksi seperti pada gambar 3 di atas. Akan tetapi dalam pengukuran sesungguhnya, maka akan terjadi kesalahan atau noise dalam perhitungan. Pengaruh ini sangat perlu dilakukan analisa.

#### Pengaruh Error RADAR Sekunder

Dalam sebuah lintasan yang mempunyai jarak maksimum tertentu, maka nilai kesalahan sebesar 10 %, lintasan tersebut masih dapat dideteksi. Sehingga, semakin jauh lintasan tersebut, toleransi kesalahan dalam jarak satuan meter semakin lebih baik. Kesalahan sampai 5 km dalam lintasan hingga 100 km masih dapat terlihat dengan jelas. Sebaliknya, semakin pendek lintasan, maka kesalahan RADAR sekunder harus semakin kecil.



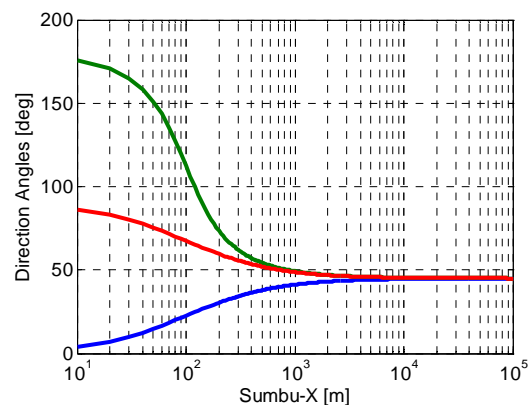
**Gambar 4.** Trayektori ideal roket dengan noise 100 meter.



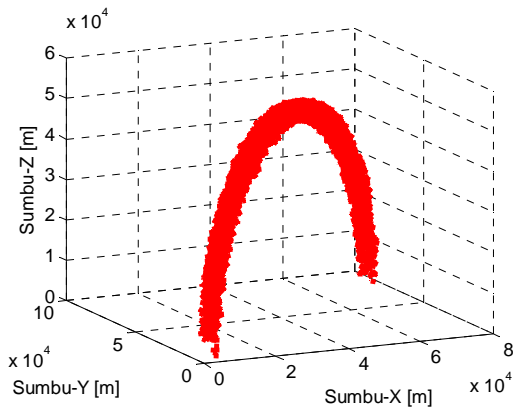
**Gambar 5.** Trayektori ideal roket dengan noise pengukuran jarak 5 km.

#### Pengaruh Jarak RADAR Sekunder

Jarak antara posisi RADAR dengan posisi roket saat diam perlu dianalisa untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil pengukuran koordinat. Gambar 7 dan 9 adalah contoh hasil pengukuran dengan jarak antara posisi yang berbeda, masing-masing 100 m dan 10 km (100 kali lebih jauh), ternyata tidak ada pengaruhnya. Hanya pada saat itu pengukuran sudut akan lebih akurat pada jarak yang lebih jauh seperti terlihat pada gambar 6 dan 8. Pada gambar tersebut, jika jarak semakin jauh, maka perbedaan sudut akan terlihat lebih detail pada jarak jauh. Sedangkan sebaliknya untuk jarak yang dekat akan lebih terlihat adanya perbedaan yang jelas pada jarak dekat. Dari persamaan (1) hingga (9) perhitungan posisi koordinat hanya dari pengukuran jarak antara masing-masing stasiun dengan roket pada saat meluncur. Arah gelombang radio diasumsikan selalu lurus bergelombang hingga sampai antenna penerima. Aplikasi algoritma digital filter dan digital prediksi diperlukan untuk meningkatkan akurasi.

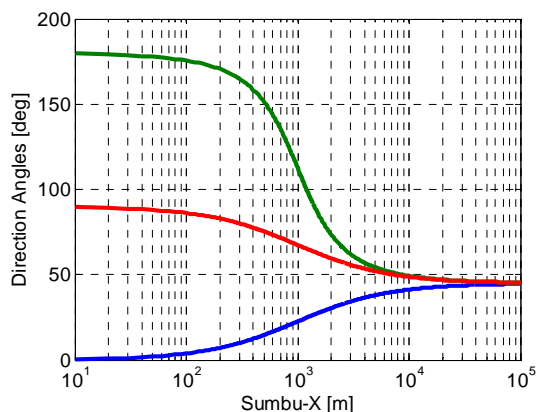


**Gambar 6.** Perubahan sudut pada ketiga titik posisi RADAR terhadap posisi roket pada jarak antar stasiun 100 m.

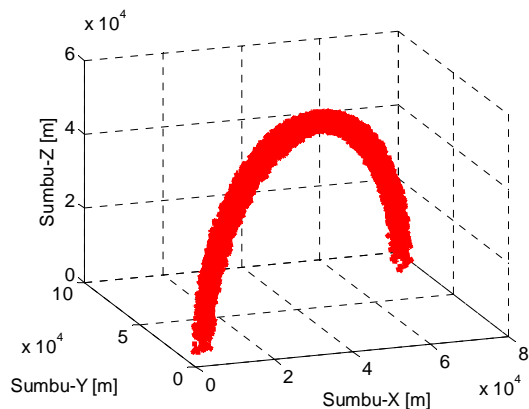


**Gambar 7.** Rekonstruksi trayektori roket dengan jarak RADAR 100 m ke arah titik awal roket.

Perbedaan perubahan sudut pada masing-masing titik pengamatan, tidak mempengaruhi hasil perhitungan koordinat. Hal ini dikarenakan dalam prinsip perhitungan trilateration tidak ada unsur parameter perubahan sudut. Sehingga sistem ini dapat diaplikasikan dengan tiga titik posisi yang berbeda tanpa memperhatikan jarak ketiganya.



**Gambar 8.** Perubahan sudut pada ketiga titik posisi RADAR terhadap posisi roket pada jarak antar stasiun 10 km.



**Gambar 9.** Rekonstruksi trayektori roket dengan jarak RADAR 10 km ke arah titik awal roket.

#### 4. KESIMPULAN

Telah dianalisa metoda TDOA-trilateration untuk pengembangan sistem tracking 3 dimensi menggunakan RADAR sekunder untuk aplikasi peluncuran roket LAPAN. Algoritma dalam metoda ini relatif sederhana dan akan diaplikasikan dengan menggunakan hardware RADAR sekunder yang sedang dikembangkan. Akurasi sistem tracking ini masih dapat diaplikasikan dengan error jarak hingga 10% dari jarak maksimum roket.

Penelitian tentang penggunaan algoritma filtering untuk meningkatkan hasil pengukuran ini akan dilakukan mendatang, untuk memperoleh hasil yang lebih akurat.

#### 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan terimakasih atas dukungan dana penelitian dari program RISTEK 2008-2009 dan institusi LAPAN sehingga tulisan ini dapat terwujud serta mendapatkan hasil-hasil penelitian selama ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peter Honold, "Secondary RADAR", Siemens 1976.
- [2] Simon K and Shaun Quegan, "Understanding RADAR Systems", McGRAW-HILL 1992.
- [3] Wahyu Widada dan Sri Kliwati, "Metoda Kalibrasi TDOA Untuk Sistem Passive RADAR Trayektori Roket", Jurnal Teknologi Dirgantara Desember 2007.
- [4] Wahyu Widada, Sri Kliwati, "Frequency-Domain TDOA Estimation Of Passive RADAR For Rocket Flight Test", Prosiding Seminar Nasional FISIKA, ITB Bandung 5-6 February 2008.
- [5] Wahyu Widada dan Sri Kliwati, "Desain Sistem Passive RADAR Radio UHF Untuk Aplikasi Uji Terbang Roket", Seminar Nasional SITIA ITS Surabaya April 2008.
- [6] Wahyu Widada dan Sri Kliwati, "Pengembangan RADAR Signal Generator untuk Tracking Long-Range Rocket Flight Test", Prosiding Seminar Nasional Teknologi, UTY 5 April 2008.